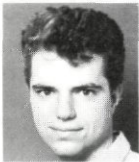


Kwaliteitsverbetering ZS De Laak door plaatbeluchting

1. Inleiding en voorgeschiedenis

Op zuiveringsstation De Laak in Lexmond wint en zuivert de NV Watermaatschappij Zuid-Holland Oost 8 miljoen m³ grondwater per jaar tot drinkwater. Het zuiveringsproces bestaat uit beluchting door versproeiing gevolgd door een eenvoudige snelfiltratie (zie afb. 1).



IR. A. HAASNOOT
WZHO



IR. L. J. W. HENDRIKS
DHV Water BV



IR. G. K. REIJNEN
Kiwa NV
Onderzoek en Advies

Vanaf medio 1988 zijn op ZS De Laak met enige regelmaat problemen geconstateerd met coli-bacteriën in het effluent van enkele filters. Tevens werden vanaf medio 1989 toenemende aantallen *Aeromonas*-bacteriën geconstateerd in het reinwater van het zuiveringsstation. Als oorzaak van deze problemen werd onder andere de aanwezigheid van methaan in het ruwwater van dit zuiveringsstation genoemd. Gemakkelijk biologisch afbreekbare stoffen, zoals methaan geven aanleiding tot bacteriegroei in de filters. De aanwezigheid van (dode) biomassa in de filters vormt een goede voedingsbodem voor de groei van *Aeromonas* ([1], zie ook kader 1 Effecten van methaan). Verwijdering van methaan vóór de filtratie zou een oplossing kunnen vormen.

Samenvatting

Door NV WZHO is in 1993, in samenwerking met Kiwa en DHV een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van recirculatie van proceslucht bij plaatbeluchters op zuiveringsstation De Laak in Lexmond. Recirculatie van proceslucht heeft als voordeel dat minder buitenlucht nodig is, waardoor de benodigde capaciteit van de luchtbehandelingsapparatuur lager kan zijn. Ook is het mogelijk om door recirculatie de verwijdering van koolstofdioxide te beperken, zonder dat dit meetbaar ten koste gaat van de methaanverwijdering en de inbreng van zuurstof. Hierdoor is de kalkafzettendheid van het geproduceerde water lager dan wanneer geen recirculatie wordt toegepast, wat op zuiveringsstation De Laak gunstig is aangezien geen ontharding wordt toegepast.

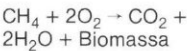
De verhouding verse buitenlucht : water kan worden verminderd tot de theoretisch voorspelde waarde van 1 : 1, zonder dat de methaanverwijdering tijdens de beluchting meetbaar afneemt. Ter vergelijking: zonder recirculatie van proceslucht is een lucht : water verhouding van circa 20 : 1 nodig. Op basis van de resultaten heeft WZHO besloten alle filters van ZS De Laak te voorzien van plaatbeluchters met luchtrecirculatie. De totale kostenbesparing aan apparatuur voor luchtbehandeling en dosering van koolstofdioxide is f 500.000,-, circa 15% van de totale investering voor de plaatbeluchters. Ook de exploitatiekosten zullen lager uitvallen. De proef heeft daarnaast uitgewezen dat door de implementatie van plaatbeluchters op ZS De Laak een aantal bacteriologische problemen uit het verleden kan worden voorkomen. Tijdens de proef is gebleken dat de capaciteit van de filters door het voorschakelen van intensieve beluchting met een factor 1,5 toeneemt. Hierdoor is het mogelijk om de geplande capaciteitsverhoging van het zuiveringsstation van 8 tot 12 miljoen m³ per jaar te realiseren zonder uitbreiding van het aantal snelfilters. Samengevat kan worden geconcludeerd dat de implementatie van plaatbeluchters een kwaliteitsverbetering van het totale proces teweeg zal brengen, zowel bij de uitbreiding als bij de huidige capaciteit van 8 miljoen m³ per jaar. WZHO heeft daarom besloten om de implementatie van de plaatbeluchters al vóór de mogelijke capaciteitsuitbreiding te realiseren. Ook op een aantal andere zuiveringslokalities van WZHO wordt het principe van intensieve beluchting met luchtrecirculatie overwogen.

Kader 1.

Effecten van methaan

Het verwijderen van methaan, ijzer, mangaan en ammonium in snelfilters vergt oxydatie. Afbeelding A laat zien in welke volgorde de oxydatie plaatsvindt.

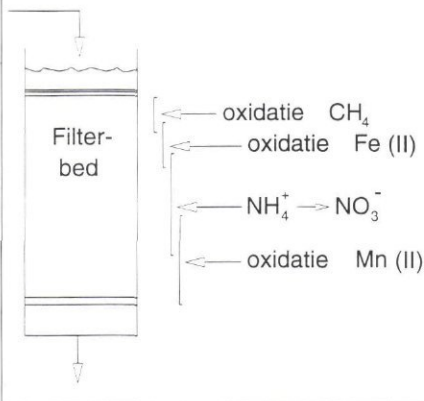
De omzetting van methaan door methaan oxyderende bacteriën is te beschrijven met de formule:



De omzetting van methaan heeft drie effecten tot gevolg [1].

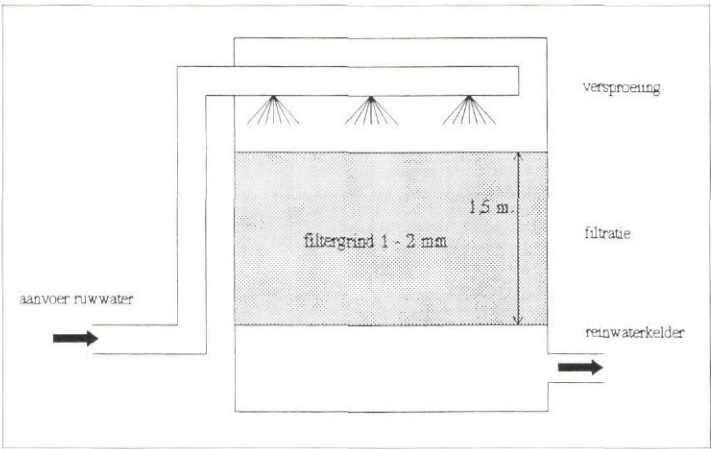
1. Methaan oxyderende bacteriën gebruiken veel zuurstof, ongeveer 4 mg O₂ per mg methaan.
 2. Methaanomzetting vergt filtercapaciteit waardoor de andere processen 'opschuiven naar beneden'.
 3. Er wordt veel biomassa gevormd omdat methaan een zeer energierijke stof is.
- Deze biomassa of bacteriemassa wordt voor een deel verwijderd bij het filterspoelen, komt voor een deel in het drinkwater en blijft voor een deel achter in het filterbed. Dode biomassa vormt voedsel voor *Aeromonas*-bacteriën. Methaan kan dus een oorzaak zijn van toename van de aantallen *Aeromonas*-bacteriën in filters en/of in het distributienet [1, 2, 3].

Volgorde oxydatie



Afb. A - Gelaagdheid processen.

Afb. 1 Zuiveringsproces ZS De Laak.



Daarnaast heeft WZHO plannen om in de toekomst de capaciteit van ZS De Laak uit te breiden naar 12 miljoen m³/jaar. Op grond van onderzoekresultaten op andere lokaties [2, 3] werd verwacht dat de zuiveringscapaciteit van de filters toe zou nemen bij intensieve beluchting vóór de filtratie.

Op basis van deze overwegingen is besloten onderzoek te doen naar de toepassing van intensieve beluchting. In 1990 en 1991 is door WZHO en Kiwa een proef uitgevoerd met twee proefkolommen [4]. Doel van dit proefonderzoek was in de eerste plaats het vergelijken van de huidige beluchting door sproeiers met twee intensieve beluchtingsmethoden, namelijk een plaatbeluchter en een cascade. Nevendoelstelling was het beoordelen van de mogelijkheid de zuiveringscapaciteit van de bestaande filters te vergroten door realisatie van intensieve beluchting.

Uit dit onderzoek bleek dat bij intensieve beluchting de verwijdering van methaan inderdaad nagenoeg volledig is. Dit in tegenstelling tot de sproeiers, waarmee circa 60-75% werd verwijderd. Ook werd een hogere zuurstofconcentratie in het beluchte water geconstateerd. Als ongewenst neveneffect van intensieve beluchting werd een verhoging van de pH vastgesteld door het uitdrijven van koolstofdioxide. Hierdoor nam de kalkafzettendheid van het water toe. De verhoging van de filtratiesnelheid van 7 tot 11 m/h leverde bij het proeffilter met sproeiers problemen op met de ontmangling en in mindere mate, de volledigheid van de nitrificatie. Door het toepassen van intensieve beluchting verbeterde het zuiveringsrendement voor deze parameters.

De ontijzing verliep volledig bij het proeffilter met sproeiers. Vooral bij het filter met de cascadebakken trad een minder volledige, onregelmatige ontijzing op. Een en ander is geïllustreerd in de tabellen I en II.

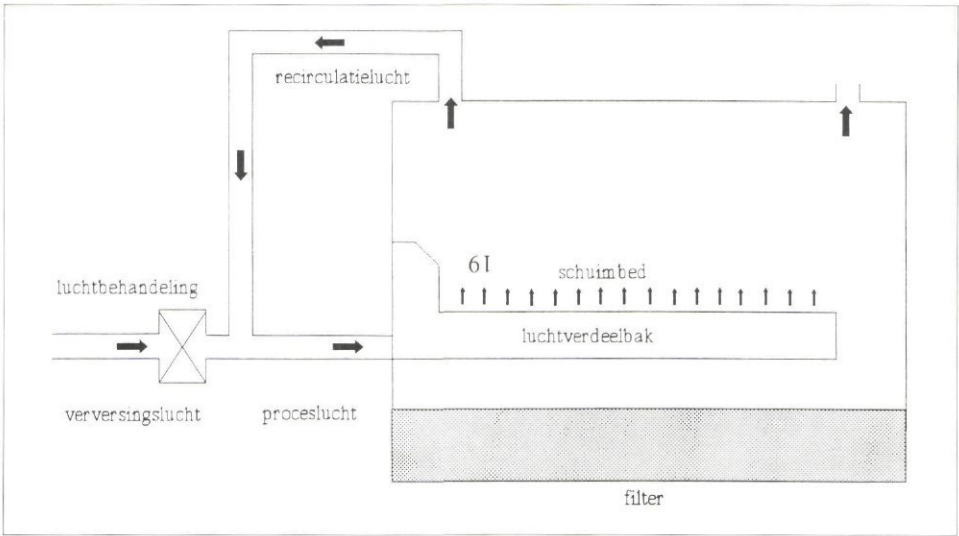
TABEL I – Beluchtingsrendement bij filtratiesnelheid 11 m/h.

Parameter	Eenheid	Ruwwater	Sproeiers	Cascade	Plaat
CH ₄	mg/l	ca. 1	0,252	< 0,086*	< 0,065*
O ₂	mg/l	0	8,2	10,0	10,2
pH	–	ca. 7,4	7,8	8,1	8,0

* berekend, waarden < 0,05 mg/l meegenomen als 0,025 mg/l.

TABEL II – Rendement filtratie bij filtratiesnelheid 11 m/h.

Parameter	Eenheid	Ruwwater	Sproeiers	Cascade	Plaat
Fe	mg/l	ca. 1	< 0,01	0,056	0,02
Mn	mg/l	ca. 0,2	0,02	0,006	0,015
NH ₄	mg/l N	ca. 0,5	0,015	< 0,01	< 0,01



Afb. 2 - Situatie tijdens proef.

Besloten werd om plaatbeluchters toe te passen vanwege de betere ontijzing en vanwege de betere inpasbaarheid binnen de bestaande installatie. Eerst werd één van de acht filters van het zuiveringsstation voorzien van een plaatbeluchter [5]. Met deze plaatbeluchter, geïnstalleerd in de ruimte boven het filter, is een proef op praktisch schaal uitgevoerd, om zo problemen met de opschaling van proef naar praktijk vroegtijdig te signaleren. Bovendien is de installatie voorzien van de mogelijkheid om de gebruikte proceslucht gedeeltelijk te recirculeren. Het principe van recirculatie van proceslucht is in afbeelding 2 geïllustreerd.

Recirculatie van proceslucht is bekend uit Duitsland waar dit wordt toegepast om ijsvorming op de platen te voorkomen [6]. WZHO heeft dit principe in eerste instantie als optie meegenomen om de hoeveelheid te behandelen verseringslucht te beperken. WZHO behandelt de proceslucht die bij de zuiveringsprocessen wordt gebruikt door HEPA fijnstoffilters. De benodigde capaciteit van deze filters kan door recirculatie theoretisch een factor 20 kleiner worden gekozen. Ook is het mogelijk om door recirculatie van proces-

lucht de verwijdering van CO₂ en daarmee de stijging van de pH te beperken, zonder dat dit merkbaar ten koste gaat van de methaanverwijdering ([7], zie kader 2 Theoretische achtergrond recirculatie).

2. De opzet van het onderzoek

Voor aanvang van het onderzoek is een aantal onderzoeksvragen opgesteld. Doel van het onderzoek was het beantwoorden van de volgende vragen:

- bij welke procesinstelling(en) en mate van recirculatie van proceslucht, functioneert de plaatbeluchter optimaal;
- welke technische veranderingen aan het ontwerp van de grote proef-plaatbeluchter en het praktijkfilter zijn noodzakelijk of gewenst;
- welke effecten heeft plaatbeluchting op het functioneren van de filtratie.

In de gesloten ruimte boven één van de acht filters werd een plaatbeluchter geïnstalleerd. Het filter werd voorzien van fijner filtergrind (1.0-1.6 mm in plaats van 1-2 mm) en van een verhoogde bedhoogte (1.8 m in plaats van 1.5 m). Bij de proeven is een maximale filtratiesnelheid van 10 m/h (330 m³/h) als uitgangspunt gehanteerd.

De metingen en monsternemingen zijn uitgevoerd gedurende een periode van vijf maanden. Tweemaal per week werd de samenstelling van het ruwwater, het beluchte water en het filtraat bepaald. De volumestromen lucht en water werden ieder uur geregistreerd.

3. Resultaten

3.1. Functioneren van de plaatbeluchter

Het functioneren van de plaatbeluchter is tijdens de proefperiode aan de hand van twee criteria bepaald. Visueel werd de stabiliteit van het bellenbed op de be-

Theoretische achtergrond recirculatie

De stuwende kracht bij overdracht van een gas van de waterfase naar de luchtfase of vice versa is het streven naar het evenwicht tussen de gasconcentratie in de lucht en de gas-concentratie in het water. Het te bereiken evenwicht is vastgelegd volgens:

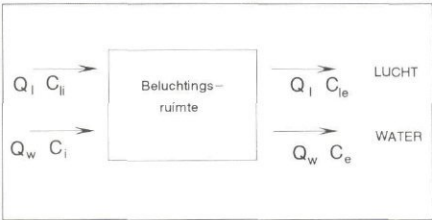
C_w = k_D * C_l (1)

waarin:

- C_w = concentratie van het gas in de water-fase [mg/l]
- k_D = distributiecøfficiënt van het gas
- C_l = concentratie van het gas in de lucht-fase [mg/l]

De overdrachtcoefficienten voor verschillende gassen en de bijbehorende concentratie voor de Nederlandse situatie zijn weergegeven in de tabel in dit kader:

De tweede vergelijking die geldt is de massa-balans over de beluchtingsruimte die beperkt geventileerd wordt en waarin de lucht gerecirculeerd wordt. De volgende schematisatie is gehanteerd:



Afb. B.

waarin:

- Q_w = waterdebiet [m³/h]
- Q_l = luchtdebiet ventilatie [m³/h]
- C_i = concentratie gas in waterinfluent [mg/l]
- C_e = concentratie gas in watereffluent [mg/l]
- C_{li} = concentratie gas in buitenlucht [mg/l]
- C_{le} = concentratie gas in beluchtingsruimte [mg/l]

De massabalans kan worden opgesteld:

Q_w * C_i + Q_l * C_{li} = Q_w * C_e + Q_l * C_{le} (2)

De derde benodigde vergelijking wordt bepaald door de verhouding tussen de water stroom en het ventilatiedebiet vast te leggen in een de RQ-factor van de ventilatie:

RQ = $\frac{Q_l}{Q_w}$ (3)

De vierde vergelijking tenslotte is de formule voor de bepaling van het rendement van de beluchting/ontgassing in de ruimte.

R = $\frac{C_l - C_e}{C_l - C_s} * 100\%$ (4)

waarin:

- C_s = evenwichtconcentratie in het water [mg/l]
- = C_{li} * k_D

Uit de samenvoeging en afleiding van de vergelijkingen (1), (2), en (3) volgt:

C_e = $\frac{RQ}{k_D + RQ} * (C_l - C_{li} * k_D)$ (5)

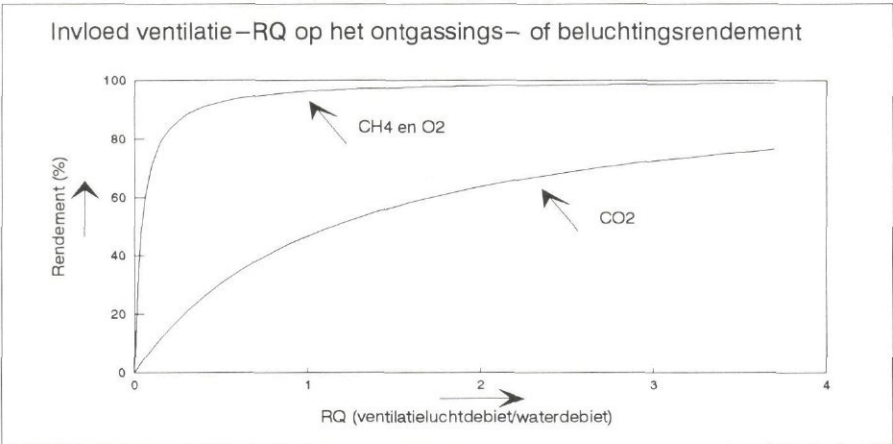
waarmee de effluentconcentratie van de stof in het water kan worden berekend, uitgaande van een 100% rendement van het beluchtings/ontgassingsapparaat in de beluchtingsruimte. Combinatie van (4) en (5) levert tenslotte de formule voor het rendement bij verschillende waarden voor de verversing van de ruimte, uitgaande van een 100% rendement van het beluchtings/ontgassingsapparaat in de beluchtingsruimte:

R_{tot} = $\frac{RQ}{k_D + RQ}$ (6)

In de onderstaande grafiek (afb. C) is voor zuurstof, methaan en koolzuur het rendement van de beluchting/ontgassing weergegeven bij verschillende waarden voor de ventilatie-RQ.

Parameter	Symbool	Eenheid	O ₂	CH ₄	CO ₂
distributiecøfficiënt	k _D	–	0,039	0,04	1,14
concentratie in de buitenlucht*	C _{li}	[mg/l]	270	0,0	0,41
evenwichtconcentratie in de waterfase	c _w	[mg/l]	10,58	0,0	0,47

* bij ca. 10 °C en zeeniveau



Afb. C.

luchter vastgesteld. Daarnaast is gekeken naar het methaangehalte van het beluchte water in de overstortgoot.

Met een relatief hoge schuimstuw (30 cm) en een grote volumestroom verversings-lucht (ca. 14.500 Nm³/h) bleek het bellen-bed zeer onrustig. Daarom is gezocht naar combinaties van de schuimstuwhoogte en de volumestroom proceslucht, waarbij een meer stabiel bellenbed optrad. Dit bleek bij een stuwhoogte van 10 cm en een volume-stroom verversingslucht van 6.500 Nm³/h het geval. Tijdens het vervolg van de proeven is deze instelling gehandhaafd. De methaanverwijdering van de plaat-beluchter was tijdens de gehele proef vrijwel volledig. Methaangehalten groter dan de analysegrens van 0,05 mg/l zijn in het beluchte water niet aangetroffen. Uitgaande van de methaanconcentratie in het ruwwater van circa 1 mg/l betekent dit een verwijderingsrendement van minimaal 95%.

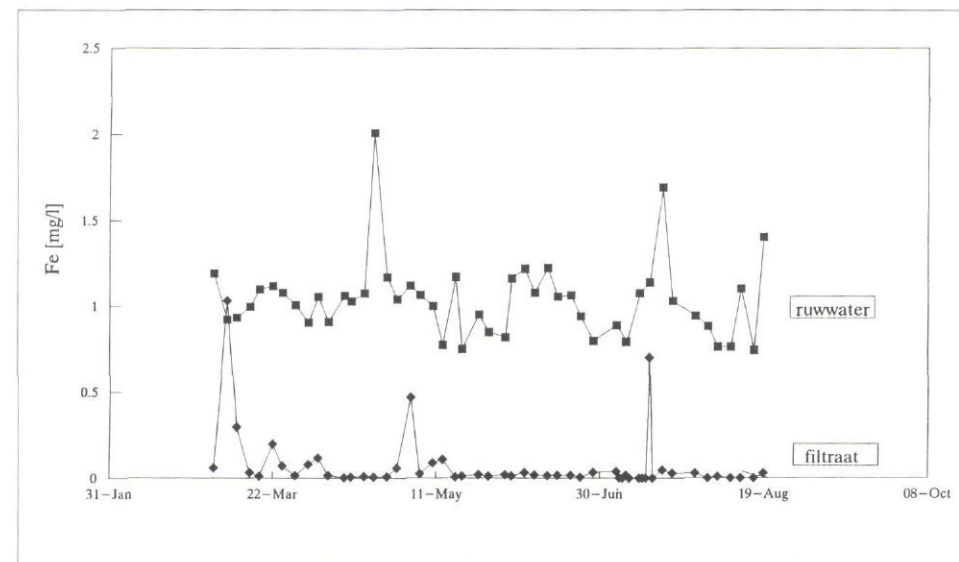
3.2. Effect van intensieve beluchting op de filtratie

Het effect van de intensieve beluchting op de filtratie is vastgesteld aan de hand van de volgende parameters:

- de ontijzering, de ontmanganing en de nitrificatie in het filter;
- de bacteriologische kwaliteit van het filtraat;
- de stijging van de pH en de mate van kalkafzettendheid van het filtraat.

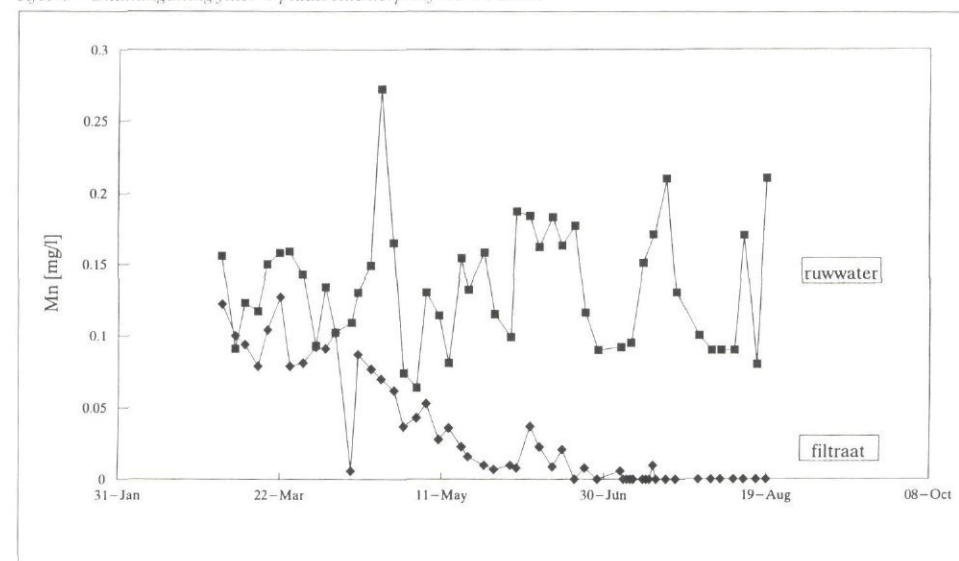
Het verloop van de ontijzering tijdens de proef is weergegeven in afbeelding 3. Uitgezonderd enkele uitschieters bleef de ijzerconcentratie in het filtraat beneden 0,05 mg/l. De ontmanganing bleek tijdens het inwerken de beperkende factor te zijn. Pas na circa twee maanden werd aan de drinkwaternorm van 50 µg/l voldaan. Later nam de mangaanconcentratie in het filtraat verder af tot waarden van circa 10 µg/l. De nitrificatie was al na circa drie weken volledig (zie afb. 5). Tijdens de proef traden enkele malen uitschieters van de ammoniumconcentratie in het effluent op door kleine aanpassingen in de bedrijfsvoering.

Tijdens de inwerkperiode en tijdens het opvoeren van de filtratiesnelheid werden in het filtraat koloniegetallen bij 22 °C van 50 tot maximaal 540 kve/ml geconstateerd. Ook het koloniegetal bij 37 °C kende tijdens deze periode een uitschieter van 28 kve/ml. Na deze periode zijn geen verhoogde koloniegetallen meer geconstateerd (koloniegetal bij 22 °C maximaal 7 kve/ml, koloniegetal bij 37 °C maximaal 1 kve/ml). *Aeromonas*- en *coli*-bacteriën

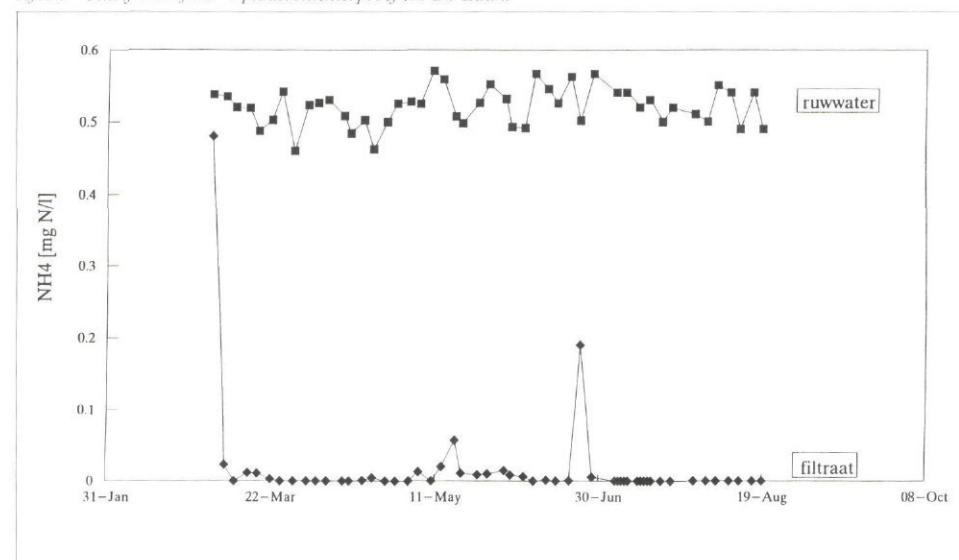


Afb. 3 - Ontijzering filter 4 plaatbeluchterproef ZS De Laak.

Afb. 4 - Ontmanganing filter 4 plaatbeluchterproef ZS De Laak.



Afb. 5 - Nitrificatie filter 4 plaatbeluchterproef ZS De Laak.



werden in het filtraat tijdens de gehele proefperiode nauwelijks aangetroffen (maximaal respectievelijk 4/100 ml en 0/100 ml).

3.3. Effect van recirculatie van proceslucht
Na de constatering dat de plaatbeluchter en het snelfilter goed functioneerden, is begonnen met de experimenten met recirculatie van de proceslucht. Tijdens een aantal meetdagen is bij verschillende hoeveelheden recirculatielucht het rendement van de beluchter bepaald. Tijdens deze experimenten bleek de plaatbeluchter zelfs bij zeer kleine hoeveelheden verversingslucht (ca. 300-500 Nm³/h) van de totale volumestroom proceslucht (6.500 Nm³/h) nog voldoende methaan te verwijderen. Een kleinere volumestroom verversingslucht was door de grote verhouding recirculatielucht : verversingslucht niet betrouwbaar te meten en in te stellen. Daarom is besloten om een 'duurproef' uit te voeren met een volumestroom verversingslucht van circa 330-500 Nm³/h. De pH van het water bleek, zoals verwacht, minder te stijgen. De pH van het water voor beluchting, direct na beluchting en na filtratie bij een aantal procesinstellingen is weergegeven in tabel III.

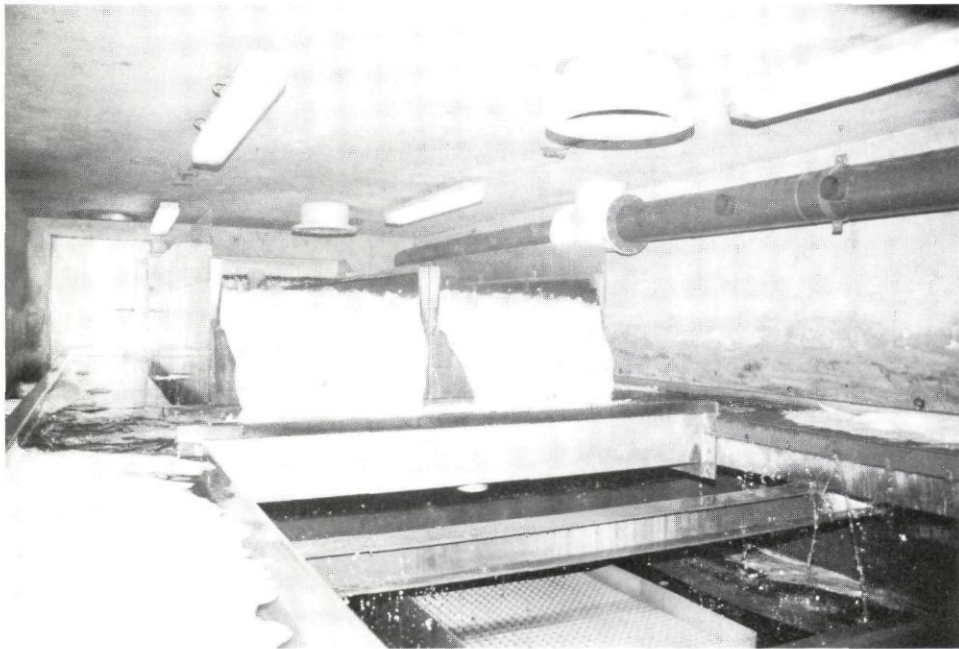
De mate van kalkafzettendheid is beoordeeld aan de hand van de verzadigingsindex (SI) van het water. Voor het berekenen van de mate van kalkafzetting bij verwarming is de TACC₉₀ een betere parameter dan de SI [10]. Door de variaties in de samenstelling van het ruwwater varieerde de TACC₉₀ echter zodanig, dat deze parameter minder bruikbaar was. In deze publikatie is daarom de SI gebruikt. Bij de verschillende instellingen zijn de volgende waarden voor de SI van het filtraat berekend (zie tabel IV).

Uit deze gegevens blijkt dat de SI van het filtraat beduidend lager ligt wanneer recirculatie van proceslucht wordt toegepast. De gemeten SI en pH van het filtraat bij recirculatie komen ongeveer overeen met in het verleden gemeten waarden voor het filtraat van de huidige filters.

4. Vertaling van de resultaten naar het ontwerp voor 8 plaatbeluchters

WZHO heeft besloten om ook de andere zeven filters van ZS De Laak te voorzien van een plaatbeluchter. Hiervoor is door DHV Water en Ingenieursbureau Van der Mast een ontwerp gemaakt. In dit ontwerp zijn, ten opzichte van de proefinstallatie, enkele wijzigingen opgenomen.

Tijdens de proeven bleek het instellen van de verhouding verversingslucht/recircula-



Plaatbeluchter ZS De Laak.

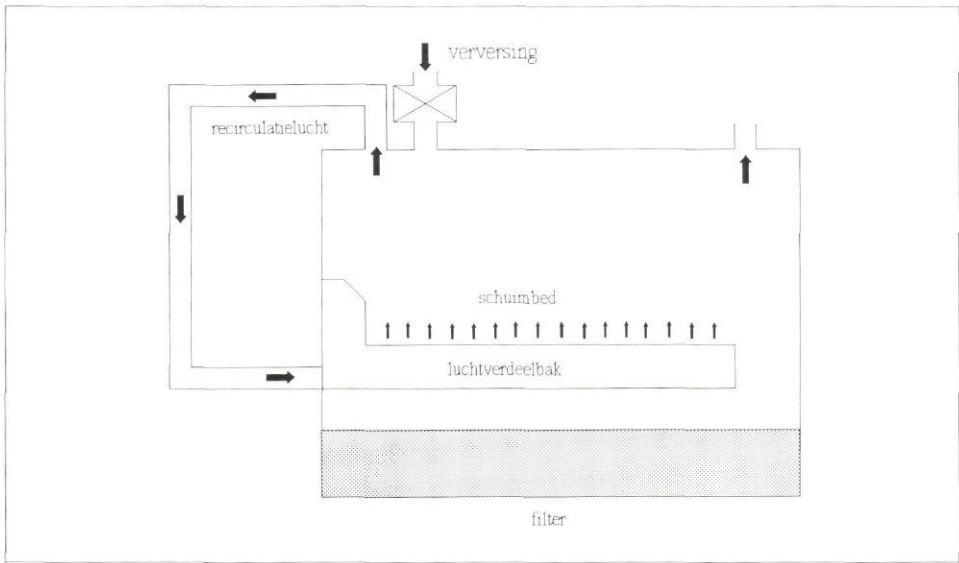
TABEL III – PH-verhoging bij verschillende procesinstellingen.

Q _{water} (m ³ /h)	Q _{verversing} (Nm ³ /h)	RQ _{verversing}	pH ruw	pH na bel.	pH na filtr.
331	6.500	ca. 20	7,6	8,0	g.g.
331	ca. 1.500	ca. 5	7,5	g.g.	7,75
331	330-500	1-1,5	7,5-7,6	7,75-7,9	7,65-7,75
228	330-500	1,5-2,2	7,5-7,6	7,8-7,9	7,65-7,75
137	330-500	2,6-3,6	7,5-7,6	7,9-8,1	7,7-7,9

TABEL IV – SI van het filtraat bij verschillende procesinstellingen.

Q _{water} (m ³ /h)	Q _{verversing} (Nm ³ /h)	RQ _{verversing} (-)	SI (-)
331	6.500	ca. 20	ca. 0,6
331	ca. 1.500	ca. 5	0,27-0,37
331	330-500	1-1,5	0,21-0,46
228	330-500	1,5-2,2	0,30-0,38
137	330-500	2,6-3,6	0,27-0,49

Afb. 6 - Scheiding luchtstromen in definitief ontwerp.



In het ontwerp is rekening gehouden met de toekomstige implementatie van ontharding. Wanneer dit plaatsvindt, is beperking van de pH-toename niet langer relevant en zelfs ongewenst. Daarom wordt bij de keuze van de verversingsventilatoren rekening gehouden met een toekomstige uitbreiding naar 1500 Nm³/h. Deze uitbreiding van de capaciteit is mogelijk gemaakt door een verhoging van het toerental van de ventilatoren.

5. Verantwoording

Het bovenstaande proefonderzoek is door een aantal medewerkers van WZHO uitgevoerd in samenwerking met Kiwa. Een deel van het onderzoek vond plaats in het kader van het VEWIN-onderzoekprogramma. Het ontwerp voor de proefinstallatie is gemaakt door Bravenboer & Scheers, op basis van door Kiwa opgestelde ontwerpcriteria. De systeemkeuze en het ontwerp van de definitieve installatie (de acht plaatbeluchters) zijn door DHV Water en Ingenieursbureau Van der Mast gemaakt.

Literatuur

1. *Aeromonas in drinkwater. Voorkomen, bestrijding, betekenis. Voordrachten van het Kiwa-VWN colloquium te Ede op 7 maart 1991 Kiwa NV Onderzoek en advies, Nieuwegein, april 1992*
2. Reijnen, G. K., Hijnen, W. A. M., Teeffelen, J. A. H. van, Hamers, R. E. H. J. en Heijnsdijk, A. P. (1991). *Verlaging van de methaanbelasting van de filters van pompstation Ridderkerk*. Kiwa SWE 91.002, januari 1991.
3. Hijnen, W. A. M., Reijnen, G. K., Bos, R. H. M., Veenendaal, D. en Kooy, D. van der (1992). *Lagere Aeromonas-aantallen in het drinkwater van pompstation Zuidwilde door verbeterde ontgassing en vernieuwen van het filtergrind*. H₂O (25) nr. 14, p. 370-375.
4. Reijnen, G. K. (1991). *Effect van intensieve beluchting op de zuivering van pompstation De Laak te Lexmond*. Kiwa SWO 91.279, juni 1991. Niet openbaar.
5. Reijnen, G. K. (1992). *Ontwerpcriteria plaatbeluchter pompstation De Laak*. Kiwa SWI 92.129, maart 1992. Niet openbaar.
6. Schulz, H. E. (1984). *Lochboden-Hochleistungsbelufter; Ein Verfahren zur mechanische CO₂-Ausreibung und Sauerstoffanreicherung bei Trink- und Brauchwasser*. BBR nr. 6, p. 204-207.
7. DHV Water BV (1993). *Systeemkeuze zuivering productie pompstation De Laak*.
8. DHV Water BV, Ingenieursbureau Van der Mast, architect O. Boom en NV WZHO (1993). *Voorontwerp kevaliteitsverbetering zuiveringsstation De Laak*.
9. Reijnen, G. K., Hamers, R. E. H. J. en Haasnoot, A. (1993). *Ontwerpcriteria voor zeven plaatbeluchters voor zuiveringsstation De Laak*. Kiwa SWI 93.137, augustus 1993. Niet openbaar.
10. Eekhout, J. M. J. M., Hoogsteen, K. J., Haring, B. J. A. M. en Eekeren, M. W. M. van (1991). *Problemen met kalkafzetting*. H₂O (24), nr. 12, p. 310-314.

